

DEN ELEKTRONISKE CIFFERREGNEMASKINE

VED REGNECENTRALEN
DANSK INSTITUT FOR MATEMATIKMASKINER

AF CIVILINGENIØR B. SCHARØE PETERSEN

SÆRTRYK ☆ „INGENIØREN” NR. 46 ☆ 17. NOVEMBER 1956

P. HANSENS BOGTRYKKERI . KØBENHAVN

DEN ELEKTRONISKE CIFFERREGNEMASKINE

ved Regnecentralen, Dansk Institut for Matematikmaskiner

Af civilingeniør B. Scharøe Petersen

518.5:621.38

På grundlag af tegninger af den svenske matematikmaskine BESK bygges nu ved Regnecentralen en modificeret kopi af BESK. Der gives i artiklen en oversigt over maskinens principielle virkemåde. Endvidere gennemgås de tekniske principper for maskinen i hovedtræk.

Regnecentralen, Dansk Institut for Matematikmaskiner, er oprettet som selvstændig institution under Akademiet for de tekniske Videnskaber i efteråret 1955. I vedtægternes formålsparagraf står: »Instituttet har til formål at forestå anskaffelse, bygning og drift af matematikmaskiner til brug for civile og militære forsknings- og beregningsopgaver. Instituttet følger udviklingen på matematikmaskinernes område og søger at bidrage til forskningen inden for dette«. Til opfyldelsen af dette formål har man påbegyndt bygningen af den første danske, elektroniske cifferregnemaskine (*Dansk version af BESK: DASK*). Da denne er en modificeret kopi af den svenske maskine BESK — Binär elektronisk sekvenskalkylator — vil det være naturligt at give en kort oversigt over udviklingen i Sverige, som førte til konstruktionen af BESK.

Udviklingen i Sverige.

I 1948 oprettedes Matematikmaskinnämnden, som fik til opgave at tilfredsstille behovet for matematikmaskiner i Sverige. Matematikmaskinnämndens Arbetsgrupp byggede først en relæregnemaskine BARK — Binär automatisk reläkalkylator — som blev færdig i januar 1950. Efter knapt fem års drift er den blevet demonteret i efteråret 1955 som værende forældet. BESK, der blev færdig i november 1953, havde gjort driften af BARK urentabel.

BESK anvendes af det svenske forsvar, af industrien og af videnskabelige institutioner i en sådan grad, at det efter to års drift er vanskeligt at tilfredsstille behovet for maskintid, på trods af at der køres i døgndrift. En af storkunderne, Svenska Aeroplan Aktiebolaget, har da også påbegyndt bygningen af en egen maskine, som bliver en modificeret kopi af BESK. Endvidere har Instituttet for teoretisk Fysik

ved Lunds Universitet allerede i 1952 påbegyndt bygningen af SMIL, Siffermaskinen i Lund, som fornylig er blevet færdig. I løbet af kort tid vil der således findes tre elektroniske ciffermaskiner i Sverige.

Udviklingen i Danmark.

Akademiet for de tekniske Videnskaber nedsatte i 1946 et regnemaskineudvalg, som skulle arbejde med spørgsmålet om anskaffelse af matematikmaskiner til brug for dansk forskning. Et resultat af udvalgets arbejde var konstruktionen af en mekanisk differentialanalysator*).

Spørgsmålet om bygning af en elektronisk cifferregnemaskine blev udskudt, indtil udviklingen på området så nogenlunde havde stabiliseret sig. I 1952 søgtes kontakt med Matematikmaskinnämnden, som med den svenske regerings tilladelse beredvilligt tilbød assistance ved bygningen af en dansk kopi af BESK. Den gestus, som fra svensk side er vist, ved at stille tegninger og erfaringer til rådighed, sparer ikke alene forskningsarbejde til et millionbeløb, men også lang tid.

Da det var klart, at maskinen ville få stor betydning for forsvarets forskningsopgaver, indledtes et samarbejde mellem Forsvarets Forskningsråd og Regnemaskineudvalget, hvilket resulterede i, at Forskningsrådet søgte en bevilling til bygning af maskinen. På grund af de økonomiske vanskeligheder blev sagen stærkt forsinket, og først i sommeren 1955 gav finansudvalget sin tilslutning til, at 900.000 kr. af Marshallhjælpens counterpartmidler anvendes til bygningen af en cifferregnemaskine.

Forsvarsministeriet anmodede herefter Akademiet for de tekniske Videnskaber om at forestå bygningen af regnemaskinen, hvad der resulterede i oprettelsen af Dansk In-

stitut for Matematikmaskiner, Regnecentralen.

Regnecentralen har en bestyrelse på 10 medlemmer, som repræsenterer Forsvaret, Københavns Universitet, Danmarks tekniske Højskole, Industrirådet og Akademiet for de tekniske Videnskaber. Formand er professor, dr. phil. Richard Petersen. Regnecentralen har nu lokaler Bjerregårdsvej 5, Valby.

Opbygningen af den danske maskine er nu i fuld gang. Erfaringerne har vist, at en del ændringer er ønskelige. Ændringerne har i første række til hensigt at lette arbejdet med programmering og kodning. Endvidere har det fortsatte forskningsarbejde ved Matematikmaskinnämndens Arbetsgrupp og Regnecentralen muliggjort en række tekniske forbedringer. DASK ventes at være i drift i foråret 1958.

For tilladelse til referering af Matematikmaskinnämndens Arbetsgrupps resultater og benyttelse af billedmateriale skal her rettes en tak til laborator Stig Comét og civilingeniør Erik Stemme.

Den programstyrede, automatiske cifferregnemaskine.

Den væsentligste og mest karakteristiske egenskab ved de moderne, automatiske regnemaskiner er, at de følger et regneprogram sammensat af elementære operationer, og dette program indsættes i maskinens lager ganske som det talmateriale, der skal bearbejdes. Et tal kan da fortolkes enten som instruktion eller som operand. Dette gør, at maskinen bliver meget flexibel; ved at udføre regneoperationer på instruktionerne kan den således ændre sit program. Karakteren af disse ændringer er nøje fastlagt i programmet og som regel betinget af de ved beregningen opnåede resultater.

Maskinen består af tre hovedenheder: Kontrolenhed, Lager og Aritmetisk Enhed. Arbejdsgangen er:

1. Et tal sendes fra Lageret til Kontrolenheden, som fortolker det som en instruktion, og impuls-generatorer m.m. indstilles i overensstemmelse hermed.
2. Den i instruktionen angivne operand sendes fra Lageret til Aritmetisk Enhed, som udfører den i instruktionen specificerede,

* Ingeniøren nr. 33, 1956.

aritmetiske operation. Eventuelt sendes et resultat fra Aritmetisk Enhed til Lageret.

3. Maskinen går videre til næste operation.

En instruktion består, som det fremgår af ovenstående, af to dele: en operationsdel, som angiver, hvilken operation maskinen skal udføre, og en adressedel, som angiver placeringen i Lageret af operanden (evt. operanderne).

I instruktionens udformning er der store variationsmuligheder. Adressedelen kan indeholde een eller flere adresser, f. eks. på to operander og næste instruktion i en treadssemaskine. Det almindeligste og som regel mest økonomiske er dog een-adressesmaskiner. I een-adressesmaskiner udføres instruktionerne i den rækkefølge, hvori de står i Lageret, medmindre det ved en særlig instruktion beordres at bryde rækkefølgen og hente næste instruktion fra den adresse, som er angivet i hopordrens adressedel. Hoppet kan gøres betinget af udfaldet af en tidligere regneoperation. DASK er en een-adressesmaskine.

Talsystemer.

Det talsystem, som anvendes i en regnemaskine, vil være afhængigt af de komponenter, som er til rådighed for repræsentation af tallene. Helst vil man jo anvende decimalsystemet og med en del specialrør, Trokotron, Dekatron og Philips EIT kan man konstruere elektroniske regnekredse, som direkte udfører regneoperationer i decimalsystemet. Disse bliver imidlertid ret langsomme, så man ved hurtige maskiner er henvist til at bruge almindelige elektronrør, som imidlertid er binære elementer. For at blive tilstrækkeligt uafhængig af spredning på rørkarakteristikker anvendes impuls-kredsløb, hvor rørene arbejder i to tilstande, strøm — ikke strøm.

At rørene er binære elementer gør det naturligt at arbejde med det

binære talsystem, d. v. s. at udtrykke tal som polynomier i 2 i stedet for i 10. Som eksempel:

$$19 = 1 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 10011.$$

For at udtrykke det samme tal må anvendes flere binære cifre, i

$$\text{gennemsnit } \frac{1}{\log 2} = \text{ca. 3 gange}$$

så mange binære som decimale cifre. Ved at kode et decimalsystem af 4 binære cifre for hvert decimalt kan man bygge en maskine, som regner decimalt med en hastighed svarende til den binære maskines. Det koster imidlertid flere rør, idet der af de $2^4 = 16$ muligheder, som fire binære cifre giver, kun udnyttes 10. Valget mellem det binære og det decimale system træffes ud fra hensynet til maskinens anvendelse.

Ved videnskabelige beregninger er selve beregningsarbejdet det overvejende, medens der er ret lidt ind- og udlæsning af tal. Den tid, der af maskinen bruges til oversættelse mellem de to talsystemer, er ubetydelig i forhold til regnetiden iøvrigt. Ved bogholderimæssige beregninger og lignende er der imidlertid et stort talmateriale, som skal bearbejdes med ret få operationer. Her bliver ind- og udlæsningen betydelig, så det lønner sig at lade maskinen arbejde decimalt og spare oversættelse.

DASK er en rent binær maskine. Den normale tal- eller ordlængde er 40 binære cifre. Kommaet er anbragt mellem 1. og 2. ciffer, d. v. s. at man umiddelbart har talområdet 0 til $2-2^{-39}$.

Mindste tal med 40 cifre:

$$0.000 \dots 0 = 0.$$

Største tal med 40 cifre:

$$1.111 \dots 1 = 2-2^{-39}$$

Talområdet normeres imidlertid på en lidt anden måde, idet det er $-1 \leq x < +1$. Negative tal repræsenteres ved deres komplement med hensyn til 2. Et tal y , $-1 \leq y < 0$ repræsenteres ved $2+y$, $0 \leq 2+y < 2$.

Det betyder, at det første ciffer, tegncifferet, er lig 0 for positive og lig 1 for negative tal.

Komplementdannelsen sker ved at ombytte 1 med 0 og 0 med 1 og derefter addere 1 på den mindst betydende plads, eller hvad der er det samme: at ombytte 1 og 0 frem til, men ikke inklusive, det mindst betydende ciffer 1.

Eksempel:

$$x = \frac{13}{16} = 0.1101; 2-x = 1.1111$$

$$\begin{array}{r} + 0.0001 \\ - 0.1101 \\ \hline \end{array}$$

$$1.0011 = 1 \frac{3}{16}$$

Kaldes tegncifret y , kan man åbenbart altid sige, at et tal y repræsenteres ved $2y$, $+y$. At talområdet er begrænset til -1 til $+1$ kaldes også, at der arbejdes med tallene modulo 2. Alle regneresultater opnås også modulo 2, d. v. s. at intet resultat må gå uden for det anvendte område.

Hovedtrækkene i maskinens funktion.

Informationen er i Lageret ind delt i helord à 40 binære cifre. Hvert helord kan deles i to halvord à 20 binære cifre. Dette anvendes ved regning, hvor mindre nøjagtighed er påkrævet, og inddelingen i halvord angiver endvidere inddelingen i instruktioner. Når halvordet betragtes som instruktion er det inddelt på følgende måde:

Adresse

11 binære cifre

Indeks

2 binære cifre

Operation

7 binære cifre

Adresserne går fra 0 til 2047, idet Arbejdslagerets kapacitet er 1024 helord eller 2048 halvord. Indeks angiver, om instruktionen skal udføres med den adresse, der står,

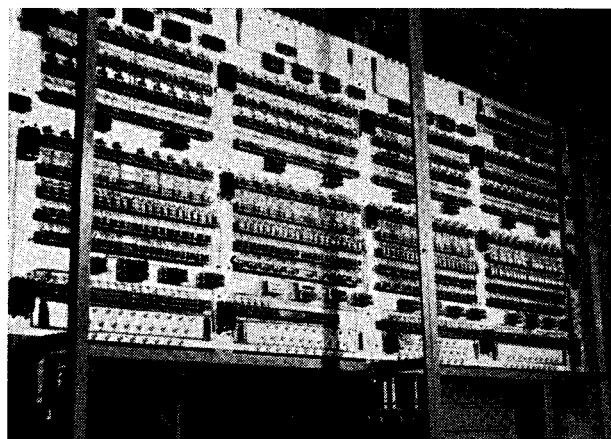
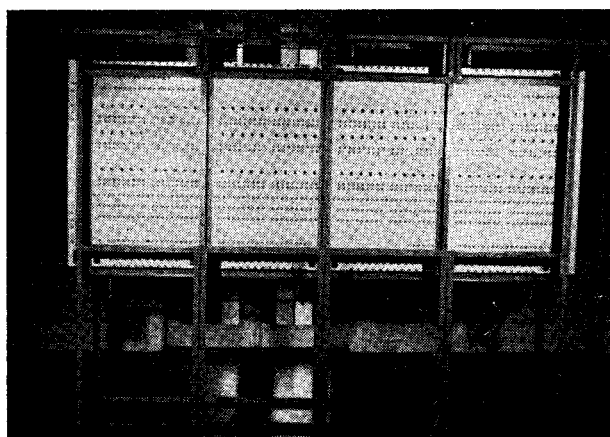


Fig. 1. Den aritmetiske enhed af DASK under opbygning. Der anvendes chassisplader med op til 100 rør pr. plade. a: set fra rørsiden, b: set fra koblingssiden.

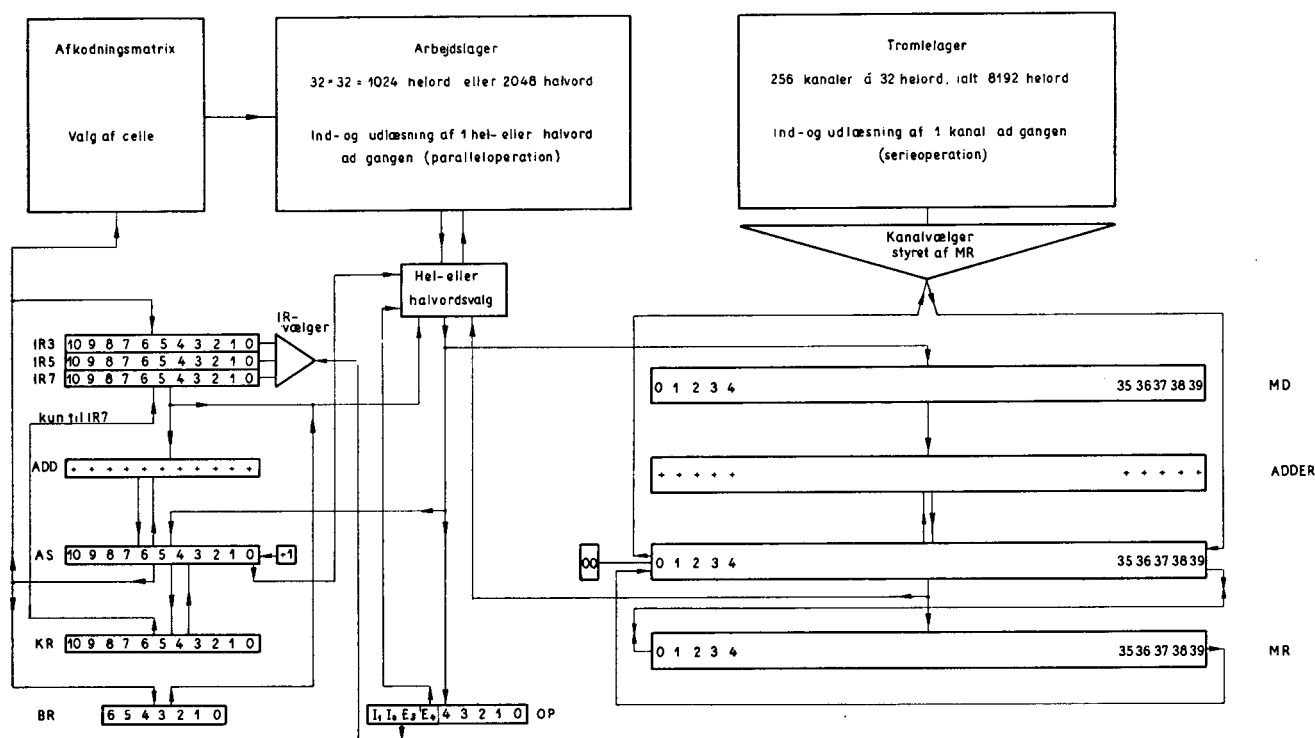


Fig. 2. Blokskema for DASK.

eller denne skal modificeres, inden operationen udføres. Modifikationen består i addition af indholdet af eet af de tre indeksregistre. Endelig angiver operationsdelen, hvilken operation der skal udføres på den angivne operand.

I blokskemaet fig. 2 er vist den principielle opbygning af maskinen. Denne er en parallel-maskine, d. v. s. at transport og regneoperationer sker samtidigt på alle cifferpositioner, til forskel fra en serie-maskine, hvor operationerne sker på kun en cifferposition ad gangen. Enkelte operationer sker dog i serie; det gælder overførsel til og fra Tromlelageret, der supplerer Arbejdslagerets kapacitet, og overføringen fra multiplikator- til akkumulatorregister.

Som nævnt er maskinen en een-adressesmaskine, som udfører instruktionerne i den rækkefølge, hvori de står i Lageret. Kontrolregisteret KR har til opgave at kontrollere rækkefølgen, idet den aktuelle instruktionsnummer står i KR. Da imidlertid kun adresseregisteret AS kan styre valget af celler i arbejdslageret, må overføringer ske mellem KR og AS, i hovedtræk således:

Ved begyndelsen af ny instruktion står dennes adresse i AS og KR. Instruktionen læses fra lageret til adresseregister AS og operationsregister OP. Instruktionen udføres i overensstemmelse med indholdet af AS og OP.

KR overføres til AS, hvorefter 1 adderes til AS.

AS overføres til KR, hvorefter der er klar til indlæsning af næste instruktion.

Ved en hopinstruktion angiver adressedelen, hvorfra næste instruktion skal hentes. For at udføre dette udelukkes blot overføringen KR til AS og additionen af 1.

Aritmetiske operationer.

Maskinen kan udføre de elementære operationer, addition, subtraktion, multiplikation og division, skifte tallene til højre og venstre, hvad der svarer til division respektive multiplikation med hele potenser af 2. Alle operationer udføres i den aritmetiske enhed, hvis opbygning fremgår af blokskemaet fig. 2. Operanden i en operation hentes fra Lageret til multiplikandregisteret MD, hvorfra den videre indgår i operationen. Den kan adderes direkte eller adderes komplementært. Akkumulatorregisterets indhold kan skiftes til højre eller til venstre, sendes til multiplikatorregisteret MR eller sendes ud til Lageret.

Addition og subtraktion.

Addenden hentes fra Lageret til MD, hvorfra additionen sker modulo 2 i Adderens 40 parallelle trin. Summen af AR's og MD's indhold indskrives i AR. Hele denne operation tager 56 μ S inklusive forudgående læsning og fortolkning af instruktionen.

Subtraktionen sker på samme tid ved modulo 2 at addere MD's ind-

hold komplementært. Komplementdannelsen sker i MD ved at ombytte 0 og 1 i alle positioner og addere 1 på mindst betydende position.

Ved addition af to positive tal, hvis sum er større end 1, eller to negative tal, hvis sum er mindre end -1 , overskrides maskinens kapacitet (spild). Man må derfor normalt ved planlægning af beregningen sørge for, at de forekommende tal altid er numerisk mindre end 1. Det kan imidlertid ikke altid lade sig gøre og for det tilfælde, at spild skulle indtræffe, findes en spildindikation indbygget.

Multiplikation.

Multiplikationen sker ved 39 gentagne additioner af multiplikanden til AR. Multiplikatoren må på forhånd være placeret i MR. Under multiplikationen aflæses position 39 i MR, og hvis dette aktuelle multiplikatorciffer er 1, adderes multiplikanden til AR; hvis det aktuelle multiplikatorciffer er 0, adderes 0 til AR. Der multipliceres ikke med position 0, tegncifferet. Den herved opnåede partialsum skiftes en position til højre, og MR skiftes en position til højre for næste deladdition. Ved skiftene løber cifre ud over AR's højre kant, men disse skiftes ind i MR fra venstre, idet der bliver pladser ledige her ved højreskiftene i MR. Efter multiplikationen står de 40 mest betydende cifre i produktet i AR og de øvrige 39 i MR.

Det antydede multiplikationsskema lader sig umiddelbart anvende

ved multiplikation af positive tal. Indgår der imidlertid negative tal, repræsenteret ved deres komplement, må der foretages en korrektion af produktet. Hvis man ved indeks 0 betegner tegncifret, vil multiplikanden x , som nævnt ovenfor, altid kunne skrives $2 \cdot x_0 + x$, hvor x kan være både positiv ($x_0 = 0$) og negativ ($x_0 = 1$). Analogt for multiplikatoren y . Man danner da produktet efter ovenstående:

$$p = (2x_0 + x)(y_0 + y) = 2x_0y_0 + 2x_0y + y_0x + xy \\ (y_0 + y, \text{ fordi der ikke multipliceres med tegncifret}).$$

Der er fire mulige tilfælde:

	p	korrekt produkt	korrektion
a. $x_0 = 0$ $y_0 = 0$	xy	xy	0
b. $x_0 = 0$ $y_0 = 1$	$x + xy$	$2 + xy$	$2 - x$
c. $x_0 = 1$ $y_0 = 0$	$2y + xy$	$2 + xy$	$2 - 2y$
d. $x_0 = 1$ $y_0 = 1$	$2 + 2y + x + xy$	xy	$2 - x + 2 - 2y$

Korrektion $2 - x$ i tilfælde b og d udføres let efter multiplikationen ved addition af x 's komplement. Korrektioner $2 - 2y$ kan imidlertid ikke adderes, sådan som Aritmetisk Enhed er opbygget, men udføres under deladditionerne. Dette opnås ved at udvide Aritmetisk Enhed med en ekstra tegnposition til venstre for position 0 under additionerne, hvorved der adderes modulo 4. Idet de enkelte partialprodukter regnes modulo 2 fås følgende rekursionsformel for det $k+1$ 'te partial produkt:

$2p_{k+1} = p_k + (4x_0 + x) \cdot y_{39-k}$, mod. 4
p. g. a. den fordoblede tegnposition.
Da formelen gælder mod. 4 og $4x_0 \cdot y_{39-k}$ kun kan antage værdierne 0 eller 4 ses, at formelen kan skrives:

$$2p_{k+1} = p_k + x \cdot y_{39-k} \\ p_{k+1} = \frac{1}{2}p_k + \frac{1}{2}x \cdot y_{39-k} \quad \text{mod. 2.} \\ \text{Man har da; idet } p_0 = 0: \\ p_1 = \frac{1}{2} \cdot x \cdot y_{39} \\ p_2 = \frac{1}{4} \cdot x \cdot y_{39} + \frac{1}{2} \cdot x \cdot y_{38} \\ \dots \dots \dots \\ p_{39} = \frac{1}{2^{39}} \cdot x \cdot y_{39} + \frac{1}{2^{38}} \cdot x \cdot y_{38} + \dots \dots \dots + \frac{1}{2} \cdot x \cdot y_1$$

Eller at p_{39} mod. 2 er:

$$p_{39} = x \left(\frac{1}{2} y_1 + \frac{1}{2^2} y_2 + \dots \dots \dots + \frac{1}{2^{39}} y_{39} \right) = x (y_0 + y)$$

$$p_{39} = xy + xy_0.$$

Det ses altså, at man ved at addere komplementet $2 - x_0$ får det korrekte produkt. Multiplikationerne består derfor blot af 39 deladditioner efter skemaet ovenfor og herefter addition af multiplikandens komplement, hvis multiplikatoren var negativ.

Multiplikationstiden er $7\mu S$ pr. deladdition, ialt $364\mu S$, inkluderet læsning af instruktionen og opsætning af den.

Division.

Ved division placeres dividenden i AR og divisoren i MD. Kvotienten dannes ciffer for ciffer ved den divisionsmetode, som kaldes non-restoring division. Denne metode, som kun egner sig for det binære system har følgende to regler for deladditioner og delsubtraktioner (ialt 39).

Hvis AR og MD har samme for-

ges under kvotientdannelsen. Man får således kvotienten med 38 betydende cifre og en korrekt afrunding, idet sidste ciffer er lig 1. Divisionsprocessen tager samme tid, $364\mu S$, som multiplikation og efterlader korrekt rest i AR og kvotient i MR.

I BESK kan MR kun skifte til højre, og da kvotienten dannes forfra (tegncifferet først), kommer kvotientcifrene til at stå i omvendt rækkefølge i MR. I DASK kan MR skifte både til højre og venstre, så kvotienten kan dannes i ret orden. Den særlige operation i BESK, som retvender kvotienten, bortfalder derfor i DASK.

Øvrige aritmetiske operationer.

Ved særlige ordrer kan AR, eller AR + MR, som en helhed, skiftes til venstre eller højre. Det svarer til multiplikation respektive division af indholdet med 2^n , hvor n er antallet af skift. Normalisering er en venstreskiftsordre som automatisk stopper, når akkumulatorens indhold ligger mellem $\frac{1}{2}$ og 1

numerisk. Ved normalisering af 0 foretages maksimalt 80 skift.

Ved en særlig skifteordre kan indholdet af MR føres til AR. En variant af denne er den logiske multiplikation, hvor der i AR sættes 1 i de positioner, hvor både AR og MR er 1, i de øvrige positioner sættes 0.

Indlæsning fra Arbejdslageret til Aritmetisk Enhed sker som nævnt i forbindelse med regneoperationerne. Udlæsning til Lageret sker ved særlige instruktioner, som enten udlæser et tal eller kun den del af det, som svarer til adressen i instruktionen.

Aritmetisk Enheds konstruktion.

Aritmetisk Enhed er opbygget af registre, som er forbundet med forskellige former for »gates«. Disse udfører de logiske operationer, hvoraf de aritmetiske operationer sammensættes. Ved hjælp af blot tre grundoperationer: Logisk addition, logisk multiplikation og inversion kan samtlige regneoperationer opbygges.

Idet vi antager, at de variable er binære cifre 0 eller 1, defineres grundoperationerne for to variable:

Logisk multiplikation:

$$C = A \times B \text{ eller blot } C = AB$$

$$C = 1 \text{ hvis både } A \text{ og } B \text{ er } 1, \\ \text{ellers } C = 0.$$

Logisk addition:

$$C = A + B$$

$$C = 1, \text{ hvis } A \text{ eller } B \text{ eller begge er } 1. \\ C = 0, \text{ hvis både } A \text{ og } B = 0.$$

Inversion:

$$C = \bar{A}, \text{ d. v. s. } C = 1 \text{ for } A = 0 \text{ og } \\ C = 0 \text{ for } A = 1.$$

tegn sættes kvotientcifferet lig 1, MD subtraheres fra AR og der skiftes en position til venstre i AR.

Hvis AR og MD har modsat fortegn sættes kvotientcifferet lig 0, MD adderes til AR, og der skiftes en position til venstre i AR.

Idet vi kalder dividenden x , divisoren y , pseudokvotienten q og den aktuelle rest R_k fås følgende rekursionsformel for R_k ifølge reglerne: $R_k = 2R_{k-1} + (1 - 2q_{k-1}) \cdot y$ $R_0 = x$ eller

$$2^{39-k} \cdot R_k = 2^{39-(k-1)} R_{k-1} + 2^{39-k} (1 - 2q_{k-1}) \cdot y \\ 2^0 \cdot R_{39} = 2^1 \cdot R_{38} + 2^0 (1 - 2q_{38}) \cdot y \\ 2^1 \cdot R_{38} = 2^2 \cdot R_{37} + 2^1 (1 - 2q_{37}) \cdot y \\ 2^2 \cdot R_{37} = 2^3 \cdot R_{36} + 2^2 (1 - 2q_{36}) \cdot y \\ \dots \dots \dots \\ 2^{38} \cdot R_1 = 2^{39} \cdot R_0 + 2^{38} (1 - 2q_0) \cdot y$$

Ved addition af disse ligninger fås:

$$p = 38 \quad p = 38 \\ R_{39} = 2^{39} \cdot R_0 + y \sum_{p=0}^{38} 2^p - y \sum_{p=0}^{38} 2^{39-p} \cdot q_p \\ \text{Da } \sum_{p=0}^{38} 2^p = 1 + 2 + 4 + 2^{38} = 2^{39} - 1 \text{ fås:} \\ R_{39} = 2^{39} \cdot R_0 + y(2^{39} - 1) - y \sum_{p=0}^{38} 2^{39-p} \cdot q_p \\ \text{Da } R_0 = x: \\ 2^{39} \cdot x = R_{39} - y(2^{39} - 1) + \dots \dots \dots + y \sum_{p=0}^{38} 2^{39-p} \cdot q_p$$

$$\frac{x}{y} = (q_0 + \frac{1}{2} q_1 + \frac{1}{2^2} q_2 + \dots \dots \dots + \frac{1}{2^{38}} q_{38}) + 2^{-39} - 1 + \frac{R_{39}}{y \cdot 2^{39}}$$

Det ses, at for at få den korrekte kvotient q skal man til q blot addere 1, d. v. s. ændre q 's fortegn og sætte $q_{39} = 1$, medens der ikke er nogen som helst fortegnskorrektion for divisors eller dividends fortegn. Disse to korrektioner foreta-

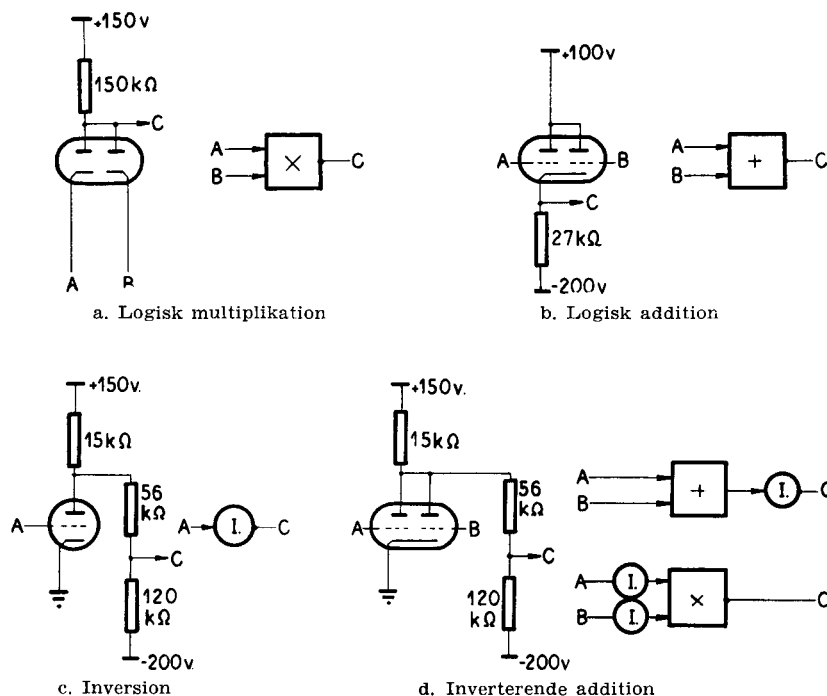


Fig. 3. Elektroniske kredsløb for elementære logiske operationer.

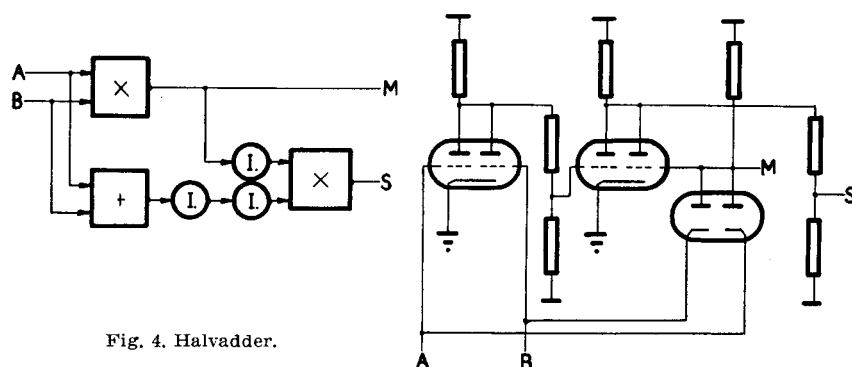


Fig. 4. Halvadder.

Af ovenstående definitioner følger da umiddelbart:

$$\overline{AB} = \overline{A} + \overline{B} \quad (1)$$

Som eksempel på anvendelsen af den logiske algebra betragtes dan-

nelsen af sumcifret S og menten M ved binær addition af to binære cifre A og B. Der er følgende 4 muligheder:

A	B	M	S	Decimalsum
0	0	0	0	0
0	1	0	1	1
1	0	0	1	1
1	1	1	0	2

Det ses da, at der kan opstilles følgende logiske udtryk for S og M:

$$S = (A + B) \times \overline{M} \quad (2)$$

$$M = A \times B \quad (3)$$

idet menten kun er 1, hvis både A og B er 1; sumcifret er 0, hvis A = B = 0 eller A = B = 1.

For at opbygge et elektronisk kredsløb, der udfører disse operationer, behøver man kun at kombinere de i fig. 3 viste typiske kredsløb. Forudsat høj repræsentation, d. v. s. at 1 repræsenteres af spænding større end 0 volt og 0 af spænding mindre end ca. -12 volt, udføres de i blokskemaerne angivne funktioner a: logisk multiplikation, b: logisk addition og c: inversion.

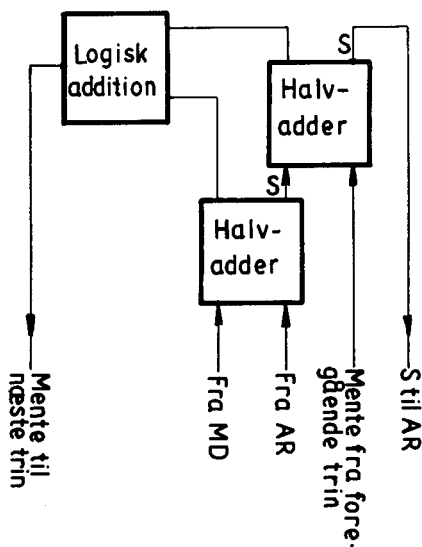


Fig. 5. Kombination af to halvaddere til et addertrin.

Kredsløbet d giver inverterende addition og kan teoretisk set erstatte b og c, så man kunne klare sig med a og d alene. At de to angivne blokskemaer for d er ækvivalente ses umiddelbart af relationen (1). Relation (2) kan omskrives:

$$S = (A + B) \times \overline{M} = A + B + M \quad (4)$$

Det ses da, at man umiddelbart kan sammensætte en halvadder, der realiserer (3) og (4) elektronisk. Dens blokskema og principskema fremgår af fig. 4. En adder sammensættes af to halvaddere, idet den jo skal addere to cifre og en mente fra det foregående trin. To halvaddere kombineres på den i fig. 5 viste måde til at udgøre en heladder, som den i BESK og DASK anvendte. Adderen danner sumcifret og menten til næste trin.

Foruden disse forskellige gates indeholder Aritmetisk Enhed registre, som er opbygget omkring en flip-flop kobling. Registeret skal kunne modtage et tal, lagre og videresende det. I fig. 6 ses en sådan kobling.

Informationen er også her i høj repræsentation, d. v. s. 1 svarer til høj spænding. Ved registerindhold 1 er højre rørhalvdel i flip-flop'en strømførende, og udgangsspændingen fra katodefølgeren ca. +2 volt.

Ved indlæsning af ny information nulstilles registret først ved påtrykning af den viste nulstillingsimpuls. Derefter påtrykkes indlæsningsrørets katode en indlæsningsimpuls. Er gitteret positivt, d. v. s. nyt ciffer = 1, vil indlæsningsrøret trække strøm og kipe flip-flop'en

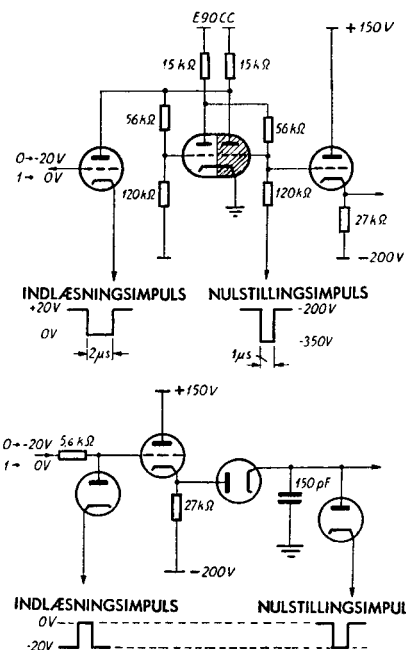


Fig. 6 a. Flip-flop registerelement. Fig. 6 b. Kondensatorregisterelement.

i 1-stilling. Er gitteret negativt, d. v. s. det nye ciffer 0, forbliver den i 0-stilling. Hvert register (AR, MR og MD) består af 40 sådanne trin.

Ved skift kræves et extra registrelement for at lagre informationen under nulstillingen. Da det kun er en kortvarig lagring, der er brug for, kan man klare sig med at oplade en kondensator. Kondensatoren (fig. 6b) er normalt udladet til -20 volt. Når indlæsningsimpulsen påtrykkes, oplades den til +3 volt ved ciffer 1 og lades uændret ved ciffer 0. Herefter kan flip-flop'en nulstilles og ny indlæsning ske fra foregående trins kondensator (fig. 7).

Kontrolenhedens konstruktion.

Kontrolenheden indeholder, foruden de tidligere omtalte registre, kredsløb for tidgivning samt impulsgeneratorer. Registrerne er i princip opbygget som registrerne i Aritmetisk Enhed, idet dog to, AS og BR, tillige kan fungere som binære tællere.

De korte operationer, addition, subtraktion, overføringer til lager og hop, udføres på en operations-tid bestående af 8 grundtider, T_1 — T_8 , à $7\mu S$. De afledes fra en to-trins, binær tæller, der drives af en oscillator for 143 kHz. Af tællerens 4 stillinger afledes gennem gates tiderne τ_1 — τ_4 , der igen deles til at give impulserne T_1 — T_8 . Ved multiplikation, division og skift må her til føjes en tid, hvis længde bestemmes af en binær tæller BR, som tæller det fornødne antal grundtider.

Ved operationer, der vedrører ydre enheder, f. eks. tromlelager og skrivemaskiner, som går asynkront i forhold til maskinen iøvrigt, kobles tidgeneratorerne elektronisk om til styring fra de ydre enheder. Når

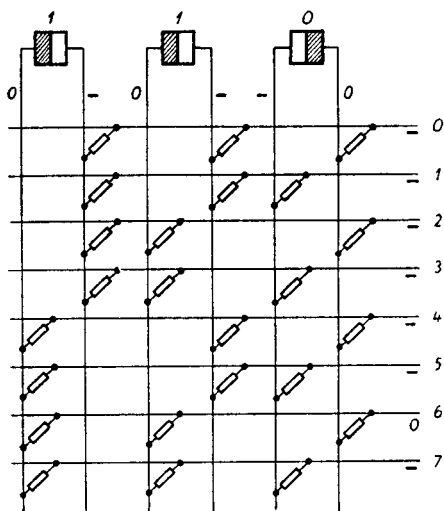


Fig. 8. Modstandsafkodning. I registrerne står 6, i binær form 110. Kun linie 6 får spænding 0, medens alle øvrige får negativ spænding.

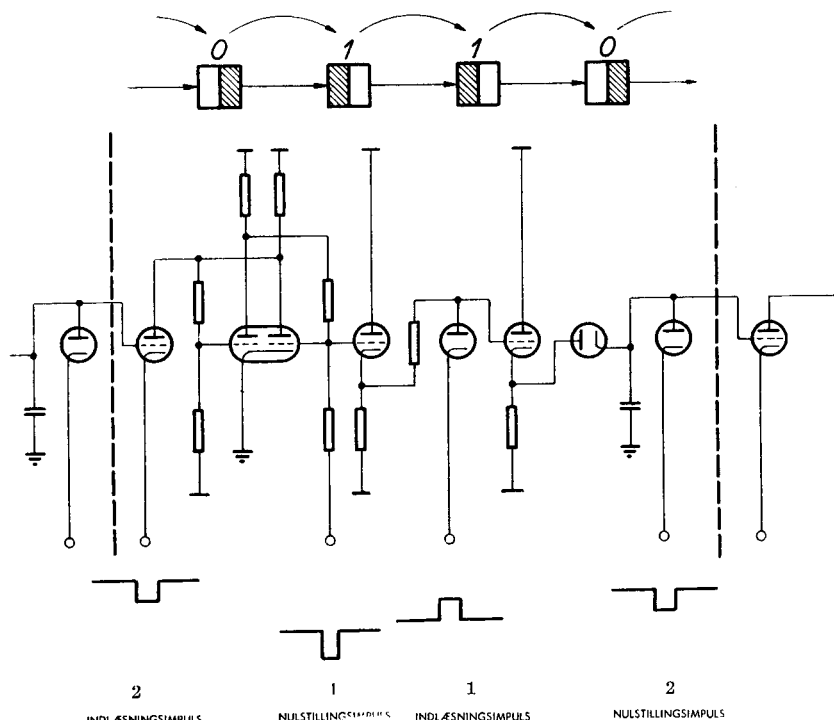


Fig. 7. Skiftregister sammensat af flip-flop og kondensatorelement. Impulserne udtrykkes i rækkefølgen: Indlæsningsimpuls 1, nulstillingsimpuls 1, indlæsningsimpuls 2 og nulstillingsimpuls 2.

en sådan operation er færdig, udsender den pågældende enhed et klarsignal, hvorved den indre styring indkobles. Det overvejende antal kredsløb i maskinen er jævns-pændingskoblede, hvorfor ændringer i frekvens forårsaget ved omkobling mellem ydre og indre enheder ikke volder større besvær.

For hver operation udsender impulsgeneratorerne den nødvendige række impulser til styring af maskinen.

Operationsregistret lagrer instruktionens operationsdel på syv binære cifre. To af disse bestemmer særlige varianter af operationerne, medens de øvrige fem, svarende til 32 grundoperationer, afkodes i en modstandsmatrix, i princippet en Kirchhoff-adder, se fig. 8. Denne leverer statiske spændinger, een svarende til hver grundoperation. I impulsgeneratorerne gates denne spænding med tidsimpulserne, og om nødvendigt fastlægges beliggenheden inden for den enkelte tid ved hjælp af een af de såkaldte centrale impulser.

Arbejdslageret.

Til lagring af instruktioner og tal, for hvilke tilgangstiden skal være mindst mulig, anvendes Arbejdslageret. Dettets størrelse er i det foreliggende tilfælde bestemt af, hvad der i første omgang anses for teknisk og økonomisk rimeligt. Selv om man kunne ønske et lager på ca. 5000 ord eller mere, er der af nævnte grunde kun valgt et lager

på $1024 = 2^{10}$ helord à 40 binære cifre. I BESK er der indtil for nylig anvendt katodestralerør, hvor de binære cifre lagres som ladinger på skærmen, men på grund af dette systems relativt lille driftssikkerhed (fejl forekom langt hyppigere i katodestralerørene end i

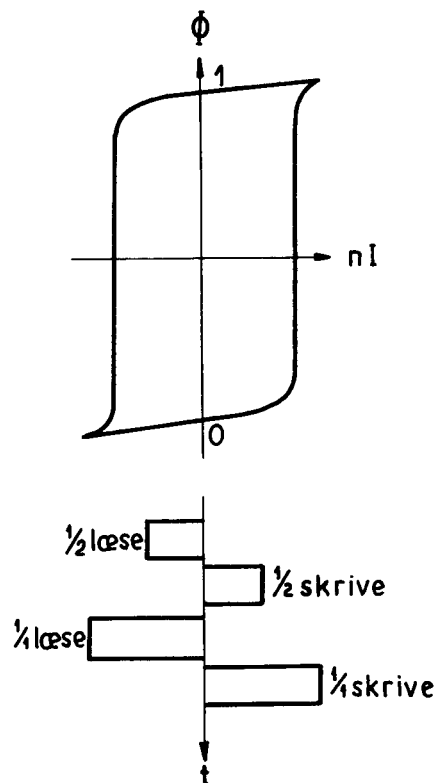


Fig. 9. Hysteresekurve og magnetiseringsforhold for ferritkerne til lagring af et binært ciffer.

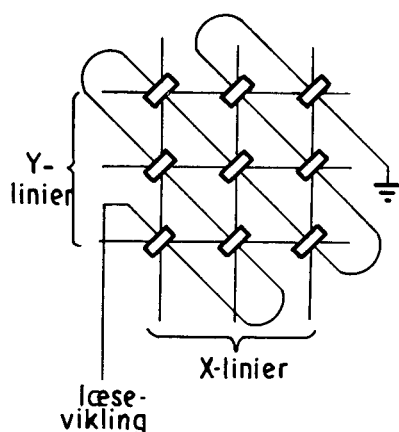


Fig. 10. Princip for matrix af ferritkerner.

den øvrige del af maskinen) er man nu gået over til at installere et ferritkerne-lager. Da der endnu ikke, medens dette skrives, foreligger nogle driftserfaringer, skal der i det følgende kun gøres rede for grundprincipperne. Forhåbentlig vil det inden længe være muligt at redegøre for tekniske detaljer.

Til lagring af hvert binært ciffer anvendes en ferritring, ca. 2 mm i diameter med næsten rektangulær hysteresesløkke. Cifre 0 og 1 repræsenteres ved magnetiseringstilstandene 0 og 1, fig. 9. Det ses, at ved de viste halvmagnetiseringer vil fluxen i kernen kun ændre sig ubetydeligt, medens en hel-magnetisering vil ændre tilstanden fra 0 til 1 eller omvendt.

Lageret består af 40 matricer, een for hvert ciffer, bestående af $32 \times 32 = 1024$ kerner. Princippet er for en mindre matrix vist i fig. 10. Hvis der skal læses fra eller skrives i en kerne, påtrykkes der strøm på

x- og y-trådene gennem kernen; hver strøm svarende til halvmagnetisering, således at de øvrige på x- og y-trådene siddende kerner ikke kan kippe om. Kun i den udvalgte kerne summerer strømmene sig og giver en helmagnetisering, som vil kippe kernen om, hvis den ikke i forvejen befinder sig i denne magnetiseringstilstand.

Ved læsning kippes den udvalgte kerne til 0. Hvis den i forvejen stod i tilstand 1, vil der herved induceres en stor spænding i læseviklingen, medens der kun induceres en lille spænding, hvis kernen var i tilstand 0. De øvrige kerner på x- og y-tråden giver kun små spændinger, men for at disse ikke skal summere sig og overstige det ønskede signal, er læseviklingen ført i zig-zag (checker-boarded) gennem kernerne. Forstyrrelserne fra halv pulsering bliver derved udbalancerede næsten helt. Da de forstyrrende signaler er af kortere varighed end det ønskede signal, afføles dette først, efter at forstyrrelserne er døet hen.

På grund af læseviklingens zig-zag føring kan signalerne være både positive og negative, kun amplitude og varighed karakteriserer dem. Signalet må derfor detekteres inden forstærkningen. Efter forstærkningen sættes en monostabil multivibrator i overensstemmelse med det læste ciffer. Fra multivibratoren går signalet til Aritmetisk Enhed og kontrolenhed.

Ved læsningen har man nulstillet den pågældende kerne. Stod der derfor 1 i kernen, må kernen sættes tilbage. Dette opnås ved, at der altid efter læsningen påtrykkes x- og

y-tråden skrivestrøm, det vil sige strøm af samme amplitude, men i modsat retning af læsestrømmen. Stod der 0 i kernen før, skal denne skrivning forhindres, hvilket sker ved at påtrykke en fjerde vikling, blokeringsviklingen, en strøm svarende til halv pulsering, der modvirker skrivestrømmen, således at den resulterende magnetisering ikke får kernen til at kippe til 1-tilstand. Blokeringsviklingen går parallelt med x-linierne.

x- og y-linierne er for de 40 matricer forbundet i serie, medens hver har sit forstærker- og blokeringskredsløb.

Strømmene, der er nødvendige for drivning af kernerne, er ca. 400 mA, svarende til halvpulsering. Denne strøm skal kunne leveres i een af 32 x- og een af 32 y-ledninger, svarende til at 5 cifre af adressen styrer valg af x-ledning, og 5 cifre styrer valg af y-ledning. ($2^5 = 32$). Læsning og skrivning varer ca. $5 \mu\text{s}$.

Tromlelageret.

Tromlelageret supplerer Arbejds-lageret, idet der i tromlelageret kan stå 8192 ord, svarende til 8 gange indholdet af Arbejds-lageret. Tilgangstiden til tromlelageret er imidlertid ret høj. Informationen overføres mellem de to lagre i blokke à 32 ord, og ventetiden kan i værste fald være 20 ms, før en enkelt overføring sker.

Tromlelageret består af to tromler, fig. 11, med hver 128 informationskanaler og tre klokpulskanaler. Tromlerne er fremstillet i massiv messing og belagt med et lag rød jernoxyd, som udgør den magnetiske belægning. Diameteren er 120 mm og længden 320 mm. Skrivning og læsning sker i hver kanal med et magnethoved med ferritkerne. Afstanden mellem kerne og tromle er ca. 0,01 mm. Da der kun kan tillades små variationer i luftgabet, er tromlerne slebet og balanceret meget omhyggeligt.

Hver kanal rummer 32 ord, svarende til en impulstæthed langs periferien på 3,4 impulser/mm. De binære tal skrives i serieform som en række af positive og negative magnetiseringer, fig. 12. Et 0 repræsenteres af en positiv magnetisering efterfulgt af en negativ, og et ciffer 1 af en negativ magnetisering efterfulgt af en positiv. Den magnetiske belægning magnetiseres til mætning i henholdsvis den ene eller anden retning for at slette tidligere information effektivt.

Ved læsning induceres i magnet-hovedet en spænding, hvis maxima og minima svarer til magnetiseringens skift. Et 1 får således maksimum og et 0 får minimum i ciffer-

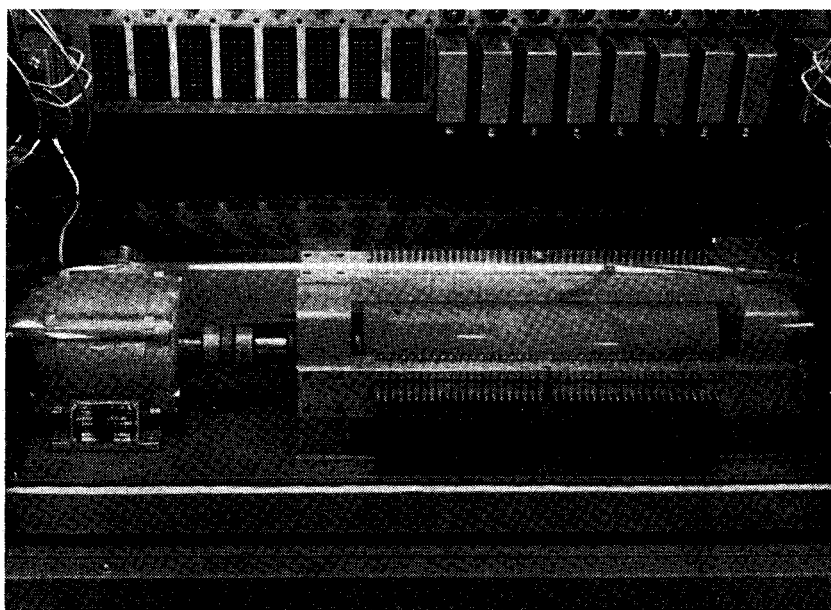


Fig. 11. Magnetisk tromle fra BESK. Læse- og skrivehovederne er anbragt i tre rækker langs tromlen, der roterer 3000 omdrejninger pr. minut. Klokpulskanalerne er anbragt på den lille ekstratromle, som ses yderst til højre.

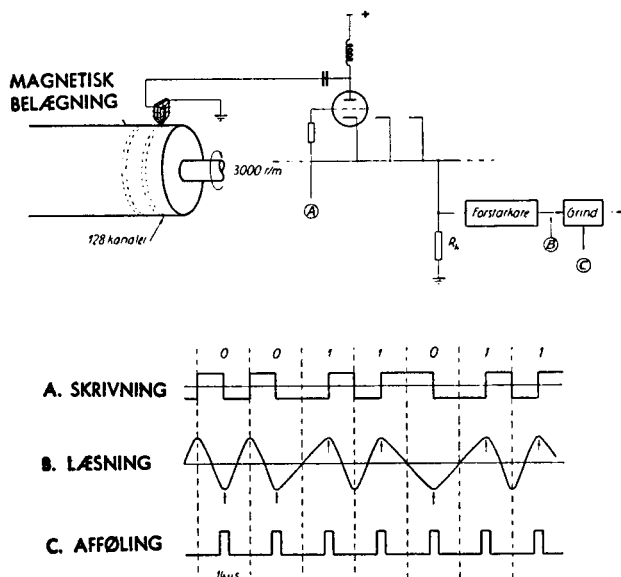


Fig. 12.

periodens midte. En impuls, som fås fra en af kloppulskanalerne bruges til at afføle signalets polaritet og dermed cifrets værdi ved hjælp af en gate.

De elektroniske vælgerkredse skal udvælge en ønsket kanal samt ved læsning eller skrivning modtage eller afgive signaler. Da der ved skrivning kræves en spænding på omkring 150 V, medens læsesignalet er ca. 50 mV, er det vanskeligt med eet hoved at klare begge dele. Derfor har de hidtil anvendte koblinger krævet separate skrive- og læsekredse, men man har ved BESK fundet en langt elegant løsning.

Den elektroniske vælger, fig. 13, er en enkel triodekobling, som muliggør læsning og skrivning med samme kreds. De 256 magnetenheder er tilsluttet hver sin anode i et system af trioder med fælles katodemodstand. Trioderne er koblet med gitterne rækkevis tilsluttet 16 horisontale linier, og triodernes anode-kompleks tilsluttet 16 vertikale linier. Valg af en kanal sker ved, at en horisontal og en vertikal linie pulseres positivt, medens de øvrige linier holdes negative. Det rør, som er indkoblet mellem de to positive linier, bliver herved strømførende. Ved skrivning tilføres gitterlinien skrivekurveformen, som forstærkes af den valgte triode.

Ved læsning kan triodekoblingen betragtes som en katodefølger, dog med den usædvanlige anvendelse, at signalet tilføres anoden og tages ud fra katoden. Over den fælles katodemodstand fås da D gange indgangssignalet (D er gennemgrebet). D er normalt 1/20, men ved at lade røret trække gitterstrøm, forøges D betydeligt. En modstand i gitteret reducerer gitterstrømmen til at være lille i forhold til anodestrømmen.

Trioden bliver da ækvivalent med en modstand, som i dette tilfælde er af samme størrelse som katodemodstanden.

Ved hjælp af denne vælger har det været muligt at reducere rørantallet betydeligt.

Ind- og udlæsning.

Den endelige udformning af ind- og udlæsningsenhederne for DASK vil ikke kunne foretages de første 2—3 år. BESK udbygges da også stadig på dette punkt. I første omgang vil der, som på BESK, blive tilsluttet en strimmellæser for 5-huls papirstrimmel, der er i stand

til at læse 400 tegn pr. sekund, og en elektrisk skrivemaskine, der er i stand til at skrive 12 tegn pr. sekund. Senere vil der kunne være tale om at tilslutte hukortmaskiner og magnetbåndudstyr. Ved bygningen er der taget hensyn hertil, og maskinens operationsliste indeholder operationer, som først vil komme i anvendelse den dag, de nye enheder tilsluttes.

Selv om maskinen arbejder i det binære talsystem, kan ind- og udlæsning ske i decimalsystemet, idet standardprogrammer, som indsættes i maskinen, foretager oversættelsen mellem de to systemer.

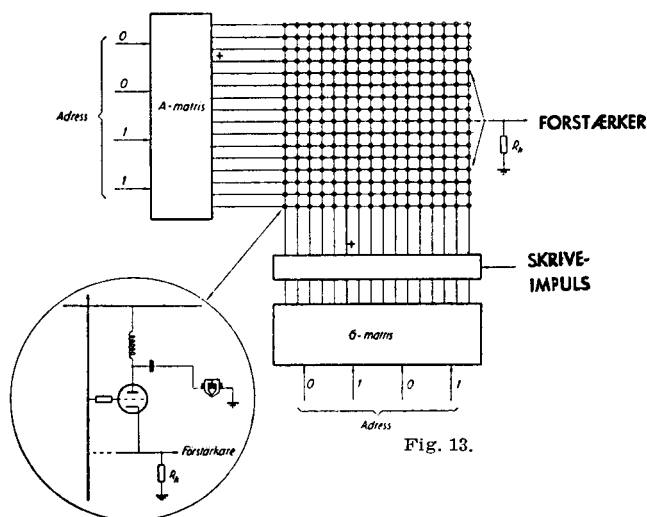


Fig. 13.

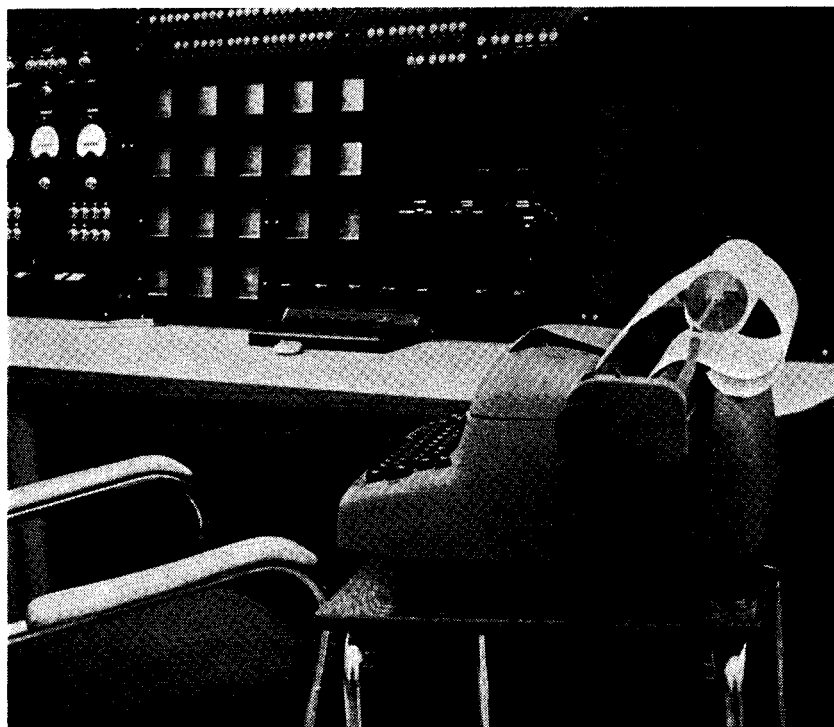


Fig. 14. Kontrolbordet ved BESK samt skrivemaskine for udlæsning. Skrivemaskinen er en elektrisk skrivemaskine, der er udstyret med en række magneter, som erstatter anslaget på tangenterne.

Kontrolbord.

Maskinen manøvreres fra et kontrolbord, der indeholder indikatorlamper for registrene og diverse manøvreknapper. For at lette fejlsøgning er det muligt at lade maskinen arbejde langsommere end normalt og dele operationerne op i elementærtrin. En forstærker med højttaler kan tilsluttes et af registrene, og man kan da ofte ved længere regneprogrammer i højttaleren på rytmen høre, om det går som det skal, eller om en fejl er indtruffet.

Strømforsyning.

DASK vil komme til at indeholde ca. 2500 elektronrør samt ca. 1500 krystaldioder og transistorer. Strømforsyningsenheden får tilført trefaset netspænding direkte. Glødespændingen er ikke reguleret, men fås fra en transformator til-

sluttet mellem to faser. Den leverer sekundært 105 V, 160 V og 220 V, der i løbet af 5 min. trinvis tilsluttes glødestrømstransformatorerne i stellerne. Disse transformerer ned fra 220 V til 6,3 V. Glødespændingen slås til i de tre tempi for at beskytte glødetrådene. Jævnspændingerne i maskinen er regulerede; store strømme fås fra gitterstyrede tyratronensrettere.

Samtlige spændinger er variable for at muliggøre marginalprøver. Formålet med disse er at finde fejlagtige komponenter før de giver fejl ved normal drift. Ved marginalprøven ændres spændingen, medens maskinen løser et selvkontrolleret prøveproblem. Ved fejl stopper maskinen, og ved at se hvad der er sket i prøveproblemet, kan man ofte lokalisere fejlstedet.

Det totale effektforbrug i BESK er ca. 15 kW, og vil blive noget

højere i DASK. Denne effekt afsættes som varme, og der må derfor tilsluttes et ret omfattende køle- og ventilationsanlæg til maskinen, både af hensyn til dennes funktion og af hensyn til personalet.

BESK har vist en stadig mindskende fejlfrekvens, og der er al mulig grund til at antage, at også for DASK vil man kunne opnå en fejlfri køretid på 90 % eller mere af den totale maskintid.

Litteratur.

Erik Stemme: Den Svenska Automatiska Räkнемaskinen BESK. Teknisk Tidskrift, 29. marts 1955.

Richards: Arithmetic Operations in Digital Computers, Van Nostrand 1955.

Booth: Automatic Digital Calculators. Butterworth 1953.

Bowden: Faster than Thought.

Stiffler, ed.: High Speed Computing Devices.